

DERWENT-ACC-NO: 1997-339421

DERWENT-WEEK: 199731

COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Waveguide type light receiving  
element for waveguide bodies e.g. optical fibres - has  
optical absorption layer extended of optical contraction part  
at one side of termination between optical waveguide  
layers extended in stripe shape of same width and  
thickness

PATENT-ASSIGNEE: FURUKAWA ELECTRIC CO LTD[FURU]

PRIORITY-DATA: 1995JP-0319521 (November 14, 1995)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PAGES	PUB-DATE	MAIN-IPC
JP 09139520 A		May 27, 1997	
010	H01L 031/10		N/A

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DATE	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
JP 09139520A		N/A	
1995JP-0319521		November 14, 1995	

INT-CL (IPC): H01L031/0232, H01L031/10

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 09139520A

BASIC-ABSTRACT:

The wave-guide type light receiving element (10) is a photodetector. The optical waveguide part (18), optical contraction part (20) and the optical absorption part (22) are set in the above order along the advance direction of

light. The cladding layers (14,28) of the optical waveguide parts consists of a respective pn junction. The optical waveguide layers (16,26) are pinched between them. The optical contraction part is a cladding layer that follows the cladding layer of the optical waveguide part.

The optical absorption layer (24) is formed such that its width and thickness tapers along the direction of light advancement and touches the optical waveguide layer. The insulation of the optical absorption part is performed electrically in the optical contraction part. The optical absorption layer of optical contraction part is at one side of termination between optical waveguide layers and extended as a strip of same width throughout. Therefore, the diameter of waveguide of light from waveguide bodies is made to match with the light of the light receiving end face of a detector (10).

ADVANTAGE - Increases response speed. Increases sensitivity. Provides simple process for manufacture. Improves optical coupling efficiency.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.4/14

DERWENT-CLASS: U12 V07

EPI-CODES: U12-A01C; U12-A02B; V07-F01A;

---

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 許出願公開番号

特開平9-139520

(43) 公開日 平成9年(1997)5月27日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 31/10			H 0 1 L 31/10	A
31/0232			31/02	C

審査請求 未請求 請求項の数4 F D (全10頁)

(21) 出願番号 特願平7-319521

(22) 出願日 平成7年(1995)11月14日

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 西片 一昭

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 入川 理徳

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

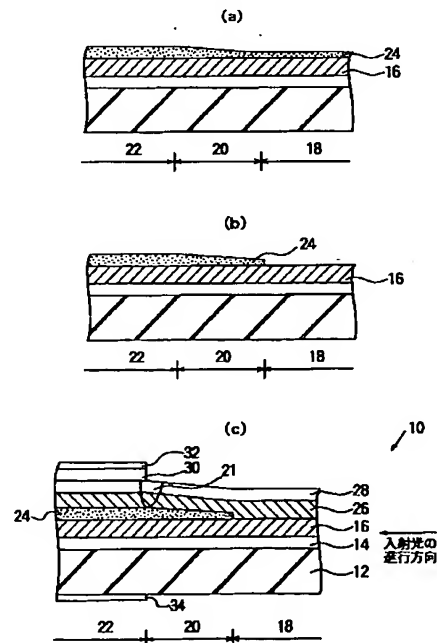
(74) 代理人 弁理士 稲垣 清 (外2名)

(54) 【発明の名称】 導波路型受光素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 感度が良く、応答速度が速く、しかも導波体との光結合効率が高い導波路型受光素子を提供する。

【解決手段】 本導波路型受光素子10は、光検出器であって、光の進行方向に沿って順次光導波部18、光収縮部20及び光吸収部22を備えている。光導波部は、それぞれp-n接合を構成するクラッド層14、28と、その間に挟まれた光導波層16、26とを有する。光収縮部20は、光導波部18のクラッド層に連続するクラッド層と、光導波部の光導波層に連続する光導波層と、光導波層に接しつつ横方向の幅及び厚さが光の進行方向に縮小する光吸収層24とを有する。光吸収部22は、光収縮部20とは電氣的に絶縁され、かつそれぞれp-n接合を構成するクラッド層14、28と、その間に挟まれた光導波層16、26とを有し、光導波層の間に一方の端部で光収縮部の光吸収層に連続して同じ幅でストライプ状に延在する光吸収層とを有する。これにより、光ファイバや石英光部品等の導波体からの光と検出器10の受光端面の光の導波径の整合が取れている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波層と、光導波層に対して小さい比屈折率を有して光導波層を挟むクラッド層とを有する光導波部と、

光導波部のクラッド層に連続するクラッド層と、光導波部の光導波層に連続する光導波層と、光導波層に接しつつ横方向の幅が光の進行方向に沿って減少すると共に厚さが増加する光吸収層とを有する光収縮部と、

p n接合を構成するクラッド層と、その間に挟まれ、かつ一方の端部で光収縮部の光吸収層の幅の狭い方の端部に接続し、その端部の幅と厚さでストライプ状に延在する光吸収層とを有する光吸収部とを備えていることを特徴とする導波路型受光素子。

【請求項2】 光の進行方向に沿って光導波部と光収縮部と光吸収部とを順次備える導波路型受光素子を製造する方法であって、

基板上に所定の波長の光を吸収しない第1の導電型の第1半導体層を成膜する工程と、

第1半導体層をエッチングして第1半導体層の順メサ構造を形成する工程とを備え、順メサ構造の形成工程では、平面形状で見て、第1半導体層が、光導波部では全面に残存し、光収縮部では光の進行方向に沿って幅が減少する縮幅領域を、光吸収部では光収縮部の幅が狭くなった端部から同じ幅でストライプ状に延在するストライプ領域をそれぞれ形成するようにエッチングされ、

更に、基板上に光吸収層を成長させる工程と光吸収層を選択的にエッチングして光収縮部の縮幅領域及び光吸収部のストライプ領域以外の領域から光吸収層を除去する工程と、

基板上に所定の波長の光を吸収しない第2の導電型の第2半導体層を成膜する工程と、及び第2半導体層上に第2半導体層より屈折率の小さい第2の導電型の第3半導体層を成膜する工程とを備えることを特徴とする導波路型受光素子の製造方法。

【請求項3】 光の進行方向に沿って光導波部と光収縮部と光吸収部とを順次備える導波路型受光素子を製造する方法であって、

基板面をエッチングして基板面に順メサ構造を形成する工程を備え、順メサ構造の形成工程では、平面形状で見て、基板面が、光導波部では全面に残存し、光収縮部では光の進行方向に沿って幅が減少する縮幅領域を、光吸収部では光収縮部の幅が狭くなった端部から同じ幅でストライプ状に延在するストライプ領域をそれぞれ形成するようにエッチングされ、

更に、基板上に所定の波長の光を吸収しない第1の導電型の第1半導体層を成膜する工程と、

基板上に光吸収層を成長させる工程と光吸収層を選択的にエッチングして光収縮部の縮幅領域及び光吸収部のストライプ領域以外の領域から光吸収層を除去する工程と、

基板上に所定の波長の光を吸収しない第2の導電型の第2半導体層を成膜する工程と、及び第2半導体層上に第2半導体層より屈折率の小さい第2の導電型の第3半導体層を成膜する工程とを備えることを特徴とする導波路型受光素子の製造方法。

【請求項4】 光の進行方向に沿って光導波部と光収縮部と光吸収部とを順次備える導波路型受光素子を製造する方法であって、

基板上に所定の波長の光を吸収しない第1の導電型の第1半導体層を成膜する工程と、

第1半導体層上に誘電体膜を成膜する工程と、

第1半導体層が、光導波部では全面に露出し、光収縮部では光の進行方向に沿って露出面の横方向の幅が減少するように露出し、光吸収部では光収縮部の露出面の幅が狭くなった端部から同じ幅でストライプ状に露出するように、誘電体膜をエッチングして誘電体膜のマスクパターンを形成する工程と、

誘電体膜をマスクにして、基板上に光吸収層を成長させる工程と

光吸収層を選択的にエッチングして光導波部から除去する工程と、

基板上に所定の波長の光を吸収しない第2の導電型の第2半導体層を成膜する工程と、及び第2半導体層上に第2半導体層より屈折率の小さい第2の導電型の第3半導体層を成膜する工程とを備えることを特徴とする導波路型受光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバなどの導波体との光結合効率を向上させ、かつ応答速度の速い構造を備えた導波路型受光素子及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の導波路型受光素子、例えば導波路型光検出器（以下、簡単に光検出器と言う）は、基本的には、p型の半導体層とn型の半導体層とで低キャリア濃度の光吸収層をその上下から挟むような積層構造で形成されている。光検出器では、p型半導体層とn型半導体層との間に逆バイアス電圧を印加して生じる高電界を利用して、空乏化している光吸収層で吸収された光により発生した電子・正孔対のうち電子をn型半導体層に、正孔をp型半導体層にそれぞれ移行させ、これにより、端面に設けられた光入射面から光吸収層に入射した信号光を光電変換している。即ち、光検出器では、光電変換して生じた電流を検知することにより光が検出される。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、光検出器の特性にとって、重要な要素は、光検出器の応答速度と、光ファイバ等の光導波体と光検出器との光結合効率である。光検出器の応答速度は、空乏層のCR時定数と、励

起キャリアが光吸収層を走行するに要する走行時間との二つの因子により決定される。即ち、走行時間が長くなればなる程、CR時定数が大きくなればなるほど、応答速度は遅くなる。接合容量は光吸収層厚さに反比例するので、CR時定数を小さくするために光吸収層厚さを厚くすると、接合容量が小さくなりCR応答速度は速くなる。一方、励起キャリアの走行時間は、光吸収層厚さを薄くすることにより低減できる。例えば、光吸収層の幅を $1\mu\text{m}$ 以下にすると、励起キャリアの走行時間は無視できる程短くなり、高速動作に適した構造となる。両者は、トレード・オフの関係にあり、一般に、接合面積を減らし、吸収層の厚さを薄くして最適値を得るようにしている。

【0004】しかし、光吸収層の厚さを薄くすると、光ファイバー、石英導波路等の光導波体から光を受ける場合、光吸収層の光のスポット径が光導波体から受光する光のスポット径より小さくなり、高い光結合効率で光を受光することが難しい。そのため、従来の光検出器では、内部に導波する光の径が小さくなり、光ファイバ等の光導波体から受光した光を減衰させることなく高い結合効率で内部に導くことが難しかった。

【0005】そこで、高い応答速度を維持しつつ高い光結合効率を達成するために、従来から種々の提案が成されている。例えば、特開昭63-278280号公報及び特開昭63-278281号公報は、テーパ領域と直状領域の2個の領域を有する平面形状の光導波層及び光吸収層からなるpn接合の積層構造をその両側から横方向に別のpn接合で挟んだ構成の光検出器を開示している。また、特開平3-120876号公報は、横方向にpn接合を持つストライプ状の光吸収層と、それに接続し、接続面では光吸収層と一致する断面形状をしており、且つ、接続面から離れるに従い幅及び厚さが大となる構造の光導波路を半導体基板上に備え、光導波路表面に回折格子を形成した受光部を有する半導体受光素子を開示している。

【0006】しかし、前掲の光検出器の構成は非常に複雑である。例えば前掲特開昭公報に開示の光検出器は、縦方向と横方向の2個のpn接合を備えているためにその構成が複雑であり、また前掲特開平公報に開示の光検出器は回折格子を形成した受光部及び導波路の構成が複雑である。その結果、その製造に当たって、製造プロセスが複雑になりコストが高むと言う問題があった。また、縦方向の結合が改善されていない言う問題点があった。以上の事情に照らして、本発明の目的は、感度が良く、応答速度が速く、しかも光導波体との光結合効率が高い導波路型光検出器を提供することであり、またそのような導波路型光検出器を製造する方法を提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者は、光検出器の

ような受光素子と光導波体との光結合効率を向上させるには、光導波体から受ける光の径と受光素子内を導波する光の径とをほぼ同じにして整合させることが必要であると認識した。この認識に基づき、本発明者は、光を導波させる領域では、光導波体から受けた光の径にほぼ等しいように導波する光の径を大きく保ち、光収縮領域では集光して光の径を小さくし、光吸収領域では効率良く光を吸収できるようにした構造を工夫し、実験を重ねて本発明を完成するに至った。

10 【0008】上記目的を達成するために、上述の知見に基づき、本発明に係る導波路型光検出器は、光導波層と、光導波層に対して小さい比屈折率を有して光導波層を挟むクラッド層とを有する光導波部と、光導波部のクラッド層に連続するクラッド層と、光導波部の光導波層に連続する光導波層と、光導波層に接しつつ横方向の幅が光の進行方向に沿って減少すると共に厚さが増加する光吸収層とを有する光収縮部と、pn接合を構成するクラッド層と、その間に挟まれ、かつ一方の端部で光収縮部の光吸収層の幅の狭い方の端部に連続し、その端部の幅と厚さでストライプ状に延在する光吸収層とを有する光吸収部とを備えていることを特徴としている。

20 【0009】本発明の導波路型受光素子の光導波部では、光導波層とクラッド層との比屈折率が小さいので、光は光導波層内に閉じ込められることなく、大きな径のまま進行する。本発明では、比屈折率の大きさは、0.09から0.01、好適には0.08から0.04である。光収縮部では、光吸収層は、その屈折率が光導波層の屈折率に比べて大きく、また、光の進行方向に沿ってその幅が減少するとともに厚さが増加するので、光の閉じ込めが強くなり、導波する光は進行するに連れて集光して光の径が小さくなる。光が光吸収部に到達すると、光吸収部の光吸収層の厚さに見合う程度に十分径が小さくなった光が効率良く吸収される。即ち、本発明では、光の進行方向に沿って光収縮部の光吸収層の横方向の幅を減少させるとともに厚さを厚くすることにより、光収縮部で入射光を集光し、その集光された光を光吸収部のストライプ状の光吸収層に効率良く入射させている。

30 【0010】上述のように、本発明は、光導波体から受光した大きな径の光を減衰させることなく光吸収部の光吸収層に導いているので、光吸収層の高い量子効率を損なうことなく、光ファイバ、石英光部品等の光導波体との高い光結合効率を実現でき、かつ高速の光検出を可能にしている。

40 【0011】本発明で、クラッド層、光導波層、光吸収層等を形成する材料としては、例えばAlGaInAs系材料、GaInAsP系材料、InP系材料を使用できる。また、光収縮部で光の進行方向に光吸収層の横方向の幅を縮小させる率及び光吸収部でストライプ状に延在する光吸収層の幅は、光を導波する際の所望の光結合効率に基づいて決定される。

【0012】上述の導波路型受光素子を製造する本発明に係る方法（以下、第1発明方法と言う）は、光の進行方向に沿って光導波部と光収縮部と光吸収部とを順次備える導波路型受光素子を製造する方法であって、基板上に所定の波長の光を吸収しない第1の導電型の第1半導体層を成膜する工程と、第1半導体層をエッチングして第1半導体層の順メサ構造を形成する工程とを備え、順メサ構造の形成工程では、平面形状で見て、第1半導体層が、光導波部では全面に残存し、光収縮部では光の進行方向に沿って幅が減少する縮幅領域を、光吸収部では光収縮部の幅が狭くなった端部から同じ幅でストライプ状に延在するストライプ領域をそれぞれ形成するようにエッチングされ、更に、基板上に光吸収層を成長させる工程と光吸収層を選択的にエッチングして光収縮部の縮幅領域及び光吸収部のストライプ領域以外の領域から光吸収層を除去する工程と、基板上に所定の波長の光を吸収しない第2の導電型の第2半導体層を成膜する工程と、及び第2半導体層上に第2半導体層より屈折率の小さい第2の導電型の第3半導体層を成膜する工程とを備えることを特徴としている。

【0013】第1発明方法から第3発明方法において、半導体層及び光吸収層を成膜する方法は、特に限定はなく、例えば分子線蒸着法（MBE法）、有機金属気相成長法（MOCVD法）等を使用できる。第1発明方法において、光吸収層を第1半導体層上に成長させる際、原子の拡散距離が長いので、順メサ構造の側面に飛来してきた原子は、そこに堆積することなく、順メサ構造の上部に拡散して上面に堆積する。その結果、順メサ構造の幅が狭い光吸収部では、順メサ構造の上面の面積に対する側面の面積の比率が大きいため、光吸収層の膜厚が厚くなる。一方、光導波部では順メサ構造の上面の面積に比べて側面の面積が極めて小さいので、光吸収層の膜厚は厚くならない。中間の光収縮部では、順メサ構造の幅が減少するに連れて順メサ構造の上面の面積に対する側面の面積の比率が大きくなるので、光吸収層の膜厚が徐々に厚くなる。また、縮幅領域を側縁を定める境界は、必ずしも直線である必要はなく、曲線でも良い。以上のことは、以下の第2発明方法についても、同じである。

【0014】導波路型受光素子の本発明に係る別の製造方法（以下、第2発明方法と言う）は、光の進行方向に沿って光導波部と光収縮部と光吸収部とを順次備える導波路型受光素子を製造する方法であって、基板面をエッチングして基板面に順メサ構造を形成する工程を備え、順メサ構造の形成工程では、平面形状で見て、基板面が、光導波部では全面に残存し、光収縮部では光の進行方向に沿って幅が減少する縮幅領域を、光吸収部では光収縮部の幅が狭くなった端部から同じ幅でストライプ状に延在するストライプ領域をそれぞれ形成するようにエッチングされ、更に、基板上に所定の波長の光を吸収しない第1の導電型の第1半導体層を成膜する工程と、基

板上に光吸収層を成長させる工程と光吸収層を選択的にエッチングして光収縮部の縮幅領域及び光吸収部のストライプ領域以外の領域から光吸収層を除去する工程と、基板上に所定の波長の光を吸収しない第2の導電型の第2半導体層を成膜する工程と、及び第2半導体層上に第2半導体層より屈折率の小さい第2の導電型の第3半導体層を成膜する工程とを備えることを特徴としている。

【0015】導波路型受光素子の本発明に係る更に別の製造方法（以下、第3発明方法と言う）は、光の進行方向に沿って光導波部と光収縮部と光吸収部とを順次備える導波路型受光素子を製造する方法であって、基板上に所定の波長の光を吸収しない第1の導電型の第1半導体層を成膜する工程と、第1半導体層上に誘電体膜を成膜する工程と、第1半導体層が、光導波部では全面に露出し、光収縮部では光の進行方向に沿って露出面の横方向の幅が減少するように露出し、光吸収部では光収縮部の露出面の幅が狭くなった端部から同じ幅でストライプ状に露出するように、誘電体膜をエッチングして誘電体膜のマスクパターンを形成する工程と、誘電体膜をマスクにして、基板上に光吸収層を成長させる工程と光吸収層を選択的にエッチングして光導波部から除去する工程と、基板上に所定の波長の光を吸収しない第2の導電型の第2半導体層を成膜する工程と、及び第2半導体層上に第2半導体層より屈折率の小さい第2の導電型の第3半導体層を成膜する工程とを備えることを特徴としている。

【0016】第3発明方法で使用する誘電体膜としては、例えば $\text{SiO}_2$ 膜、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 膜等を使用できる。光吸収層が成長する際、飛来した原子は、長い拡散距離にわたって拡散するので、誘電体膜上に飛来した原子は、殆どその上に堆積することなく、誘電体膜の無い領域に拡散して堆積する。その結果、第1半導体層が露出しているストライプ領域の幅が狭く誘電体膜が広い領域にわたって存在する光吸収部では、光吸収層の膜厚が厚くなる。一方、光導波部では第1半導体層が全面にわたって露出しているので、光吸収層の膜厚が厚くなることはない。中間の光収縮部では、光吸収層の膜厚が徐々に厚くなる。第1発明方法から第3発明方法において、半導体層を成長させる際、Inが最も促進（エンハンス）されて拡散するので、光吸収層の厚さが増加する程、In成分が増加し、波長が長くなり、屈折率が増大する。

【0017】

【発明の実施の形態】以下に、添付図面を参照し、実施例を挙げて本発明方法の実施の形態を具体的に詳細に説明する。

#### 実施例1

本実施例は、本発明に係る導波路型受光素子、例えば半導体導波路型光検出器（以下、簡単に光検出器と言う）を製造する第1発明方法の実施例であって、図1及び図4(a)から(c)は各工程毎の基板断面を示し、図2

及び図3(a)から(c)はそれぞれ順メサ構造の詳細を示す平面図及び図2の線I-I、線II-II及び線III-IIIでの断面図である。本実施例では、先ず、図1に示すように、分子線蒸着法(MBE法)によって、n型のInP半導体基板12上に、順次、InP基板12と格子整合したn型のAlInAsからなる層厚 $2\mu\text{m}$ のクラッド層14及びn型のAlGaInAsからなる層厚 $3\mu\text{m}$ の光導波層16をそれぞれ成膜した。

【0018】次いで、光導波層16をエッチングして図2及び図3(a)から(c)に示すような平面形状のパターンを有する順メサ構造を形成した。順メサ構造を形成する光導波層16は、平面で見て、光導波部18では図3(a)に示すように全面に延在し、光収縮部20では図3(b)に示すように光の進行方向に沿って横方向の幅が狭くなる縮幅領域20aを形成し、光吸収部22では図3(c)に示すように幅が狭くなった端部から同じ幅でストライプ状に延在しているストライプ領域22aを形成している。尚、InP基板12上にクラッド層14及び光導波層16を成長させる上で、順メサが出現するような結晶方位が、InP基板12の面として選択されている。

【0019】次いで、順メサ構造を有する基板上に光導波層16よりエネルギーギャップの小さいAlGaInAsからなる光吸収層24を膜厚 $0.1\mu\text{m}$ になるような条件でMBE法により成長させた。光吸収層が成長する際、原子の拡散距離が長いために、順メサ構造の側面に飛来した原子は殆ど順メサ構造の上部に拡散して上面に堆積する。その結果、順メサ構造の幅が狭い光吸収部22では、順メサ構造の上面の面積に対する側面の面積に比率が大きいため、光吸収層24の膜厚が厚くなる。一方、光導波部18では順メサ構造の上面の面積に比べて側面の面積が極めて小さいので、光吸収層24の膜厚は厚くならない。中間の光収縮部20では、順メサ構造の幅が減少するに連れて順メサ構造の上面の面積に対する側面の面積の比率が大きくなるので、光吸収層24の膜厚が徐々に厚くなる。このため、図4(a)に示すように、光吸収層24の膜厚は光吸収部22では $0.3\mu\text{m}$ になり、光導波部18では $0.1\mu\text{m}$ になり、光収縮部20では光導波部18から光吸収部22に向かって $0.1\mu\text{m}$ から $0.3\mu\text{m}$ に徐々に厚くなった。

【0020】続いて、図4(b)に示すように、光吸収層24を選択的にエッチングして光収縮部20の縮幅領域20a及び光吸収部22のストライプ領域22a以外の領域の光吸収層24を除去した。次いで、基板上に、順次、p型のAlGaInAsからなる膜厚 $3\mu\text{m}$ の光導波層26及びp型のAlInAsからなる膜厚 $2\mu\text{m}$ のクラッド層28を成膜した。光導波層26の成膜の時、最初の $0.2\mu\text{m}$ は $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 程度の低ドーパで行い、残りは $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度の高ドーパで行った。次に、イオン打ち込み法により、プロトンを拡散

させて導電を遮断する電気絶縁層21を光吸収部22と光収縮部20との間に設け、更に、光吸収部22の光吸収層24の領域でクラッド層28上に、順次、コンタクト層30及び配線のための金属蒸着層32を形成した。また、InP基板12の厚さを所定の厚さに調整した後に、裏面に配線のための金属蒸着層34を形成した。

【0021】以上の工程により、図4(c)に示すような積層構造が形成され、これをへき開いて所望の大きさの本発明に係る光検出器10を得ることができた。光検出器10は、図4(c)に示すように、光の進行方向に沿って光導波部18と、光収縮部20と、光吸収部22とを備えている。光導波部18は、pn接合を構成する光導波層16、26と、光導波層16、26に対して比屈折率が小さく、光導波層16、26を挟みつつpn接合を構成するクラッド層14、28とを備えている。光収縮部20は、光導波部18のクラッド層14、28に連続するクラッド層14、28と、光導波部18の光導波層16、26に連続する光導波層16、26と、光導波層16、26に接しつつ横方向の幅が光の進行方向に減少すると共に厚さが増加する光吸収層24とを備えている。光吸収部22は、光収縮部20とは電気絶縁層21により電気的に分離されており、かつそれぞれpn接合を構成するクラッド層14、28と、光導波層16、26と、その間に挟まれ、かつ一方の端部で光収縮部20の光吸収層24の幅の狭い端部に連続し、その端部の幅と厚さでストライプ状に延在する光吸収層24とを有する。本実施例では、光吸収層24の幅は、光導波部18で $10 \sim 30\mu\text{m}$ 、光吸収部22で $2\mu\text{m}$ 、光導波部18の長さは $20 \sim 100\mu\text{m}$ 、光収縮部20の長さは $20 \sim 200\mu\text{m}$ 、光吸収部22の長さは $30\mu\text{m}$ であった。また、光導波層に対するクラッド層の比屈折率は、 $0.07$ であった。

【0022】本実施例で得た光検出器10内を導波する光の径をシミュレーションを使って計算すると、図5に示すように、光の径は、光導波部18では光導波層16及び26の厚さにほぼ等しい $6.5\mu\text{m}$ 、光収縮部20を進行するに連れて光導波層16、26の幅が狭くなり、かつ屈折率の大きい光吸収層24の厚さが増加するに伴い、光の閉じ込めが強くなり、徐々に光の径は小さくなり、光吸収部22では $1.5\mu\text{m}$ となった。光吸収層の幅が $2\mu\text{m}$ と狭いので、CR時定数が小さくなり、応答速度が速い。また、本実施例で得た光検出器10は、光収縮部20と光吸収部22とは電気的に絶縁されており、光吸収部22の光吸収層24にのみ電極用金属蒸着層32が形成されているので、静電容量が小さくなり、受光した光信号の検出を高速化することができる。光検出器10では、光ファイバや石英光部品等の光導波体からの光の径と光検出器10の受光端面の光の導波径の整合が取れているために、レンズ等の集光手段を通さなくても高い光結合効率で光を光検出器10に導くこと

ができる。

#### 【0023】実施例2

本実施例は第2発明方法の実施例であって、図6及び図7は各工程の基板断面を示している。図6及び図7に示す半導体層等は、図1から図5に示す半導体層等と同じものである限り、同じ符号を付してその説明を省略する。先ず、図6に示すように、n型のInP半導体基板12上に分子線蒸着法(MBE法)によってInP基板12と格子整合したn型のAlInAsからなる層厚2μmのクラッド層14を成膜した。

【0024】次いで、クラッド層14をエッチングして図7及び図8(a)から(c)に示すような平面形状のパターンを有する順メサ構造を形成した。図8(a)から(c)に示すように、順メサ構造を形成するクラッド層14は、平面で見て、光導波部18では全面に延在し、光収縮部20では光の進行方向に沿って幅が狭くなる縮幅領域20bを形成し、光吸収部22では幅が狭くなった端部から同じ幅でストライプ状に延在しているストライプ領域22bを形成している。尚、InP基板12上にクラッド層14を成長させる上で、順メサが出現するような結晶方位が、InP基板12の面として選択されている。

【0025】次いで、図9に示すように、基板上に分子線蒸着法(MBE法)によって順メサ構造の上面にn型のAlGaInAsからなる層厚3μmの光導波層16を成膜した。続いて、基板上に光導波層16よりエネルギーギャップの小さいAlGaInAsからなる光吸収層24を膜厚0.1μmになるような条件でMBE法により成長させた。

【0026】光吸収層が成長する際、原子の拡散距離が長いために、実施例1と同様に、順メサ構造の側面に飛来した原子は殆どそこに堆積することなく、順メサ構造の上部に拡散して上面に堆積する。このため、図10に示すように、光吸収層24の膜厚は光吸収部22では0.3μmになり、光導波部18では0.1μmになり、光収縮部20では光導波部18から光吸収部22に向かって0.1μmから0.3μmに徐々に厚くなる。

【0027】次に、実施例1と同様にして、図4(b)に示すように、光吸収層24を選択的なエッチングにより光収縮部20の縮幅領域20b及び光吸収部22のストライプ領域22b以外の領域の光吸収層24を除去した。次いで、図4(c)に示すように、光導波層26、クラッド層28、コンタクト層30及び金属蒸着層32、34を形成して、実施例1で得た光検出器10と同様な光検出器を得た。

【0028】実施例1及び2において、MBE法を用いてAlGaInAs系材料を積層した例を示したが、MOCVD法を用いてGaInAsP系材料によりGaInAsP光吸収層、GaInAsP光導波層及びInPクラッド層を形成しても良い。

#### 【0029】実施例3

本実施例は第3発明方法の実施例であって、図11は基板の層構造を示す断面図、図12及び図13(a)から(c)はそれぞれ順メサ構造の詳細を示す平面図及び図12の線VII-VII、線VIII-VIII及び線IX-IXでの断面図である。図11から図13に示す半導体層等は、図1から図5に示す半導体層等と同じものである限り、同じ符号を付してその説明を省略する。先ず、図11に示すように、有機金属気相成長法(MOCVD法)によって、n型のInP半導体基板12上に、順次、InP基板12と格子整合したn型のInPからなる層厚2μmのクラッド層42及びn型のGaInAsPからなる層厚3μmの光導波層44をそれぞれ成膜した。

【0030】プラズマ蒸着法を用いて基板上にSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜46を蒸着させ、次いで、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜46をエッチングして図12及び図13(a)から(c)に示すような平面形状のパターンを有するマスクを形成した。マスクの平面形状は、図13(a)から(c)に示すように、光導波層44が、光導波部18では全面に露出し、光収縮部20では光の進行方向に沿って露出面の幅が狭くなるように露出し、光吸収部22では幅が狭くなった端部から同じ幅でストライプ状に露出するような形である。

【0031】次いで、基板上に光導波層44よりエネルギーギャップの小さいGaInAsPからなる光吸収層48を膜厚0.1μmになるような条件でMBE法により成長させた。光吸収層が成長する際、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜マスク46上では、光吸収層48の堆積が起らず、そこに飛来した原子は殆どSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜マスク46の無い領域に拡散して堆積する。その結果、光吸収部22では光導波層44が露出している領域が幅の狭いストライプ状であるから、光吸収層48の膜厚が厚くなる。一方、光導波部18では光導波層44が全面に露出しているの、光吸収層48の膜厚が厚くならない。中間の光収縮部20では、光吸収層48の膜厚が徐々に厚くなる。このため、図14(a)に示すように、光吸収層48の膜厚は光吸収部22では0.3μmになり、光導波部18では0.1μmになり、光収縮部20では光導波部18から光吸収部22に向かって0.1μmから0.3μmに徐々に厚くなった。

【0032】続いて、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜マスク46をエッチングにより除去し、更に図14(b)に示すように、光導波部18の光導波層44上の光吸収層48をエッチングにより除去した。次いで、基板上に、順次、p型のGaInAsPからなる膜厚3μmの光導波層50及びp型のInPからなる膜厚2μmのクラッド層52を成膜した。次に、イオン打ち込み法により、プロトンを拡散させて導電を遮断する電気絶縁層21を光吸収部22と光収縮部20との間に設け、更に、光吸収部22のクラッド層28上に、順次、コンタクト層30及び配線ため



11

の金属蒸着層32を形成した。また、InP基板12の厚さを所定の厚さに調整した後に、裏面に配線のための金属蒸着層34を形成した。以上の工程により、図14(c)に示すような積層構造が形成され、これをへき開して所望の大きさの本発明に係る光検出器40を得ることができた。

【0033】光検出器40は、図14(c)に示すように、図4(c)に示す光検出器100と同じ構成を備えており、また光吸収層48の幅、光導波部18、光収縮部20及び光吸収部22の長さも実施例1と同じであった。

【0034】実施例1と同様にして、本実施例で得た光検出器40内を導波する光の径をシミュレーションを使って測定したところ、実施例1について図5に示したものと同等な結果を得た。また、本実施例で得た光検出器40は、実施例1と同様に、光ファイバや石英光部品等の光導波体からの光と光検出器10の受光端面の光の導波径の整合が取れているために、レンズ等の集光手段を通さなくても高い効率で光を光検出器40に導くことができる。

【0035】以上の説明から判るとおり、本発明に係る光検出器10、40は半導体層の積層構造の厚さ方向にのみpn接合を構成しているため、その製造方法の工程が前掲公報の製造方法に比べて簡単である。

【0036】

【発明の効果】本発明によれば、導波路型受光素子を順次光の進行方向に沿って設けられた光導波部、光収縮部及び光吸収部から構成し、光の進行方向に沿って光収縮部の光吸収層の横方向の幅を減少させると共に厚さを厚くし、かつ光吸収部の光吸収層をストライプ状に延在させることにより、光吸収層の幅が狭く、CR時定数が小さくなって、感度が良く、応答速度が速く、しかも光導波体との光結合効率が高い導波路型受光素子を実現している。また、本発明方法によれば、本発明に係る導波路型受光素子を簡単な工程で製造できる方法を実現している。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1での第1の工程での基板断面を示す断面図である。

【図2】順メサ構造の平面形状を示すための平面図である。

【図3】図3(a)から(c)は、それぞれ図2の線I-I、線II-II及び線III-IIIでの断面図である。

【図4】図4(a)から(c)はそれぞれ各工程毎の基

12

板断面を示す断面図である。

【図5】受光した光の導波を示す概念的基板断面図である。

【図6】実施例2での第1の工程での基板断面を示す断面図である。

【図7】順メサ構造の平面形状を示すための平面図である。

【図8】図8(a)から(c)は、それぞれ図7の線IV-IV、線V-V及び線VI-VIでの断面図である。

【図9】実施例2で光導波層を成膜した段階の基板断面を示す断面図である。

【図10】実施例2で光吸収層を成膜した段階の基板断面を示す断面図である。

【図11】実施例3でSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜を成膜した段階の基板断面を示す断面図である。

【図12】Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜マスクの平面形状を示すための平面図である。

【図13】図13(a)から(c)はそれぞれ図12の線VII-VII、線VIII-VIII及び線IX-IXでの断面図である。

【図14】図14(a)から(c)は、それぞれ各工程毎の基板断面を示す断面図である。

【符号の説明】

10 第1発明方法及び第2発明方法により形成した光検出器の層構造

12 n型のInP半導体基板

14 n型のAlInAsからなるクラッド層

16 n型のAlGaInAsからなる光導波層

18 光導波部

20 光収縮部

22 光吸収部

24 AlGaInAsからなる光吸収層

26 p型のAlGaInAsからなる光導波層

28 p型のAlInAsからなるクラッド層

30 コンタクト層

32、34 金属蒸着層

40 第3発明方法により形成した光検出器の層構造

42 n型のInPからなるクラッド層

44 n型のGaInAsPからなる光導波層

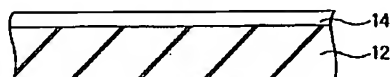
46 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜

48 GaInAsPからなる光吸収層

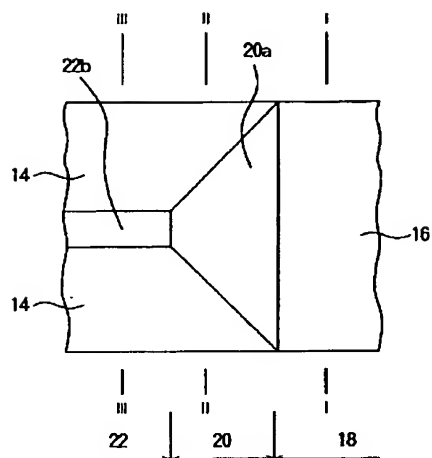
50 p型のGaInAsPからなる光導波層

52 InPからなるクラッド層

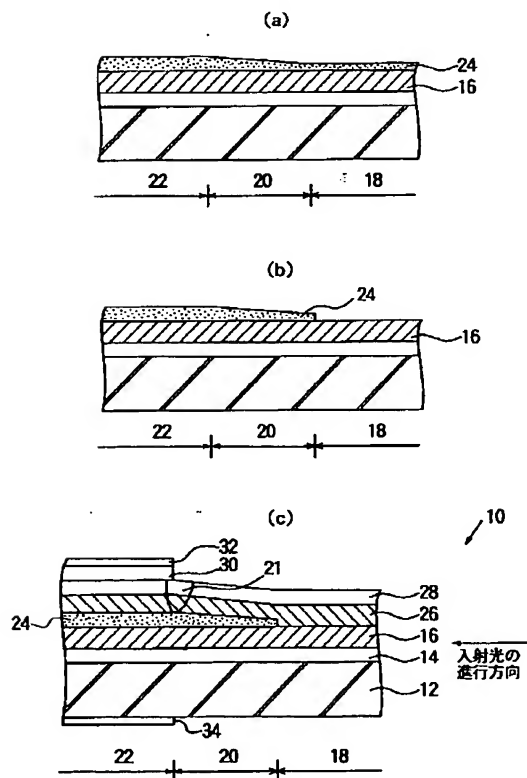
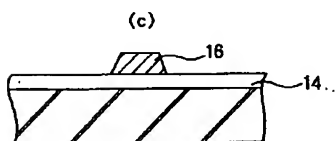
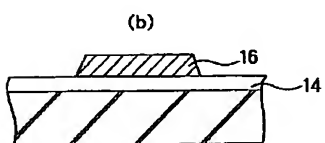
【図6】



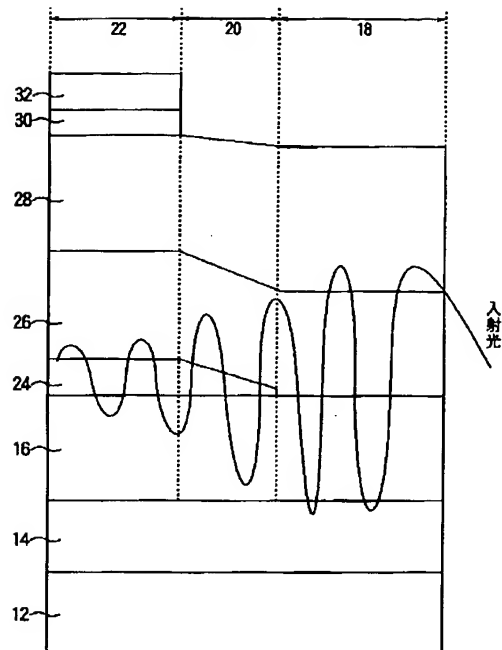
【図2】



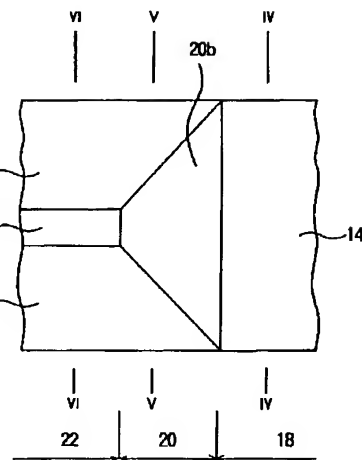
【図4】



【図5】

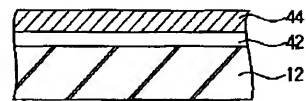


【図7】



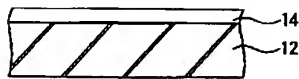
【図13】

(a)

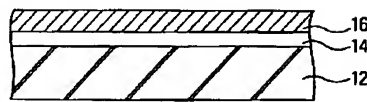


【図8】

(a)

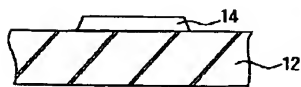


【図9】

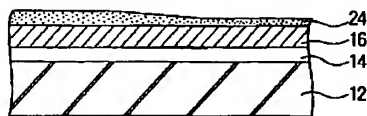


【図10】

(b)



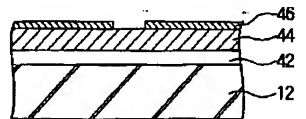
【図11】



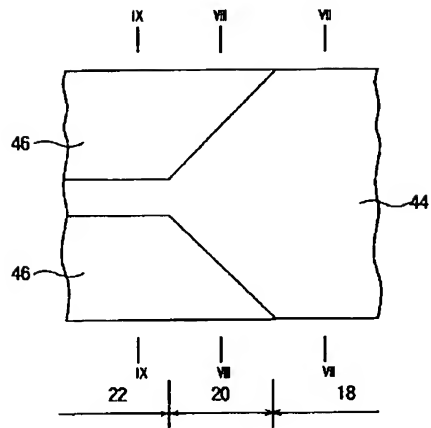
(c)



(c)



【図12】



【図14】

